



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

EDITORIALE.

Finita un'era ne comincia un'altra.

Mai un editoriale, come quello di oggi, fu più coerente con i fatti correnti di questo numero!

Sì, perché in realtà, in questi mesi, cominciano veramente due nuove ere:

quella del volo spaziale che vede sempre di più avvicinarsi i giorni in cui volare nello spazio sarà rischioso quanto oggi volare da Roma a New York. Forse solo un tantino più costoso.

SpaceX ce lo sta dimostrando.

E noi, su questo numero, daremo ampio spazio a questa era, con tre articoli con cui approfondiremo molti aspetti tra i quali la navetta Starship, il lanciatore Super Heavy ed i relativi innovativi motori Raptor 2. Tutti prodotti da SpaceX e dal suo lungimirante e capace condottiero Elon Musk. L'altra era che comincia è la nostra, quella della nostra associazione.

Sì, perché con questo editoriale terminano i miei "sproloqui" nell'editoriale come presidente della APS Il C.O.S.Mo.

Non gioite... mi sentirete ancora, spero per parecchio tempo, ma non sarò più il vostro presidente operativo. Resterò come "onorario" o "emerito" o "vicepresidente".

Insomma, non vi siete sbarazzati di me.

Dopo quindici anni di onorata rappresentanza, cedo volentieri la sedia (noi non abbiamo poltrone, siamo poveri di finanza ma ricchi di spirito) ai giovani.

Lo faccio senza scrupoli perchè conosco bene il team con cui ho lavorato e sono certo della loro professionalità e competenza. Non sto a farvi un elenco di tutto ciò che abbiamo fatto in questi quindici anni. Non c'è né spazio né tempo e forse vi annoierei pure. Troverete tutto sul nostro sito che da oltre un anno ha una nuova veste.

Anche questa rivista avrà una nuova veste.

Dal prossimo numero, il 59, che uscirà a fine novembre, quando avremo già eletto il nuovo presidente, troverete una veste innovativa in linea con le più moderne riviste di scienza mondiali.

Il responsabile ed il titolare dell'editoriale n°59 sarà il nuovo presidente, mentre tutti quanti noi, continueremo a remare per onorare l'obiettivo del nostro statuto: PRODURRE DIVULGAZIONE SCIENTIFICA GRATUITA AD USO POPOLARE.

Un obiettivo con un orizzonte che, partito dal territorio modenese, è ora arrivato a buona parte della Regione Emilia-Romagna con eventi anche a Bologna, Reggio, Maranello, Brescello, San Mauro, Montecchio, Sasso Marconi, ma anche a Mantova.

Siamo partiti con dei corsi, poi abbiamo introdotto conferenze, articoli su queste pagine, gite tematiche e videoclip su YouTube. Ora siamo presenti con un nostro stand anche ad eventi fieristici come Play a Modena e Opificio Golinelli di Bologna.

Insomma, sono veramente soddisfatto del lavoro che abbiamo fatto e voglio qui ringraziare tutti quanti. Ringrazio prima di tutto voi lettori e soci che ci avete seguito e supportato. Credo però doveroso ringraziare anche i "motori" della nostra associazione, in particolare quei quattro manager che trovate qui sotto di fianco a me. Senza di loro tutto questo non ci sarebbe. **Da sinistra: Davide Borghi, Roberto Castagnetti, io, Ciro Sacchetti e Leonardo Avella.**

Una squadra affiatata, collaborativa, competente ed interdisciplinare, che con anche il supporto della nostra segretaria Marta Menani ha generato e conduce una APS unica e irripetibile.



Grazie a tutti ed a presto.

*Il presidente Luigi Borghi
borghiluigi23@gmail.com*

In Breve

Astronautica. Di Luigi Borghi.....	Pag. 2
Raptor 2, il motore di Starship	
Astronautica. Di Leonardo Avella.....	Pag. 15
Starship di SpaceX vs N1 il razzo lunare della U.R.S.S.	
Astronautica. Di Ciro Sacchetti.....	Pag. 20
Boca Chica: come nasce un sogno.	



Raptor 2, il motore della Starship di SpaceX che ci porterà su Marte. Di Luigi Borghi.

Tutte le volte che vediamo in tv o sul web il decollo, o meglio il "lift off" di un razzo, qualunque sia il lanciatore, vediamo sempre la stessa cosa: un getto di gas incandescente che esce dagli ugelli dei motori.

Dietro a quel "getto" ed a quei motori, nel tempo, dalla corsa allo spazio degli anni '50-'60 fino ai giorni nostri, vi è stata una significativa evoluzione! Un progresso che ha generato svariate tecnologie di motori a razzo, quali quelli a combustibile solido, ibridi, elettrici, nucleari ecc. che però non sono oggetto di questa analisi. Qui mi occuperò solo di quelli a combustibile liquido per poi approfondire il Raptor 2, della SpaceX, in particolare.

Si è evoluto il design, sono stati inventati nuovi materiali, nuove leghe, nuovi processi che hanno portato a dei risultati consistenti in termini di affidabilità, costi, tempi di sviluppo e produzione. Tuttavia, non hanno prodotto enormi aumenti delle performance in termini di rendimenti o meglio di Impulso Specifico ⁽¹⁾. O meglio ci sono stati, ma solo di qualche decina di punti percentuali.

Per fare un confronto numerico eclatante possiamo mettere a confronto il mitico razzo F1, del poderoso Saturno V che aveva 265 s di impulso specifico contro i 378 s del Raptor 2 della SpaceX, che non ha ancora messo in orbita nulla, ma che è di certo uno dei più performanti.

Obiettivo di questo articolo è quello di farvi capire dove si colloca il motore Raptor 2, il motore che spinge la Starship, rispetto agli altri motori oggi sul mercato, che tipo di tecnologia usa e come funziona.

Per ottenere questo obiettivo credo utile esplorare tutte le tecnologie che riguardano i motori a razzo a combustibile liquido,

⁽¹⁾ L'Impulso Specifico (IS) è il tempo, in secondi, in cui una determinata tecnologia di propulsione produce una spinta di una unità (ex 1K Newton) con una quantità di carburante (e ossidante) di massa pari alla spinta. Pertanto, un IS di 265s, significa che con 1000 Newton di carburante il razzo F1 poteva generare una spinta di 1000 Newton per 265 secondi, o se volete una spinta di 100.000 Newton per 2,65 secondi.

Prima però dobbiamo chiarire alcuni concetti fondamentali che caratterizzano i motori a razzo a combustibile liquido. Un motore a razzo deve:

- 1) Alimentarsi e funzionare da solo. Deve trovare un mezzo per fornire energia alle pompe che muovono i propellenti. L'origine di questa energia è la chiave di ogni "ciclo" di alimentazione. Questa potenza viene generata attraverso uno o più bruciatori separati (gas generator o preburner) che utilizzano lo stesso carburante e lo stesso ossidante del propulsore principale. Il gas di scarico ad alta pressione di questi bruciatori alimentano poi le turbine delle pompe che iniettano carburante ed ossidante nella camera di combustione principale. Questa è la ragione per la quale un motore di questo tipo, all'accensione, richiede tempo. Al "go" non c'è pressione, quindi, partono i preburner al minimo e cominciano a cedere energia alle turbine del compressore che a loro volta aumentano la pressione di ingresso, Questo "avviamento", prima di arrivare a regime, richiede anche diversi secondi. Questa è anche la ragione per la quale questo tipo di motore non viene mai usato per i casi di emergenza dove è necessaria elevata velocità di reazione.**
- 2) Può essere monouso (pochi minuti di vita) o multiuso. È evidente che nel caso del multiuso, progetto e materiali devono considerare una vita operativa molto più lunga con migliaia di avviamenti e spegnimenti e diverse ore complessive di resistenza (ovviamente non continuative).**
- 3) Avere una spinta facilmente e velocemente modulabile.**
- 4) Il suo vettore di spinta deve poter essere direzionato attraverso sistemi di controllo elettro-meccanici o fluido-meccanici (gimbaling, giunti cardanici).**

Questi obiettivi si possono ottenere con diversi schemi o diversi "cicli di alimentazione" che andremo qui ad esaminare.

Si possono suddividere in due macrocategorie:



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58°- Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

- ✓ **i motori a ciclo "aperto"**
- ✓ **i motori a ciclo "chiuso".**

Da queste categorie sono esclusi i razzi a combustibile liquido alimentati da pompe elettriche a batteria. Una categoria che occupa una piccola nicchia nei lanciatori per piccoli carichi paganti. Ciò è dovuto al fatto che le potenze delle pompe sono direttamente proporzionali alla spinta generata dal razzo, pertanto, quando si arriva a spinte considerevoli, sia il motore elettrico che le batterie per alimentarli diventerebbero troppo pesanti ed ingombranti.

Per fare un esempio, un singolo motore F1 del razzo Saturno V aveva una spinta massima di 600 tonnellate ed aveva una pompa di alimentazione di 41 MW (55.000 CV).

Un esempio di razzo con pompa elettrica che è operativo oggi è l'Electron della neozelandese Rocket Lab. Ha 9 motori del primo stadio e usa due pompe elettriche per ogni motore, una per il combustibile ed una per l'ossidante.

I due motori elettrici brushless da 37 kW (50 hp) girano a 40.000 giri/min e sono alimentati da una unica batteria ai polimeri di litio per tutti i nove motori contemporaneamente. È in grado di fornire oltre 1 MW (1.300 hp) di potenza elettrica. Una "bella" batteria!

Ma torniamo ai nostri cicli di combustione e partiamo con il

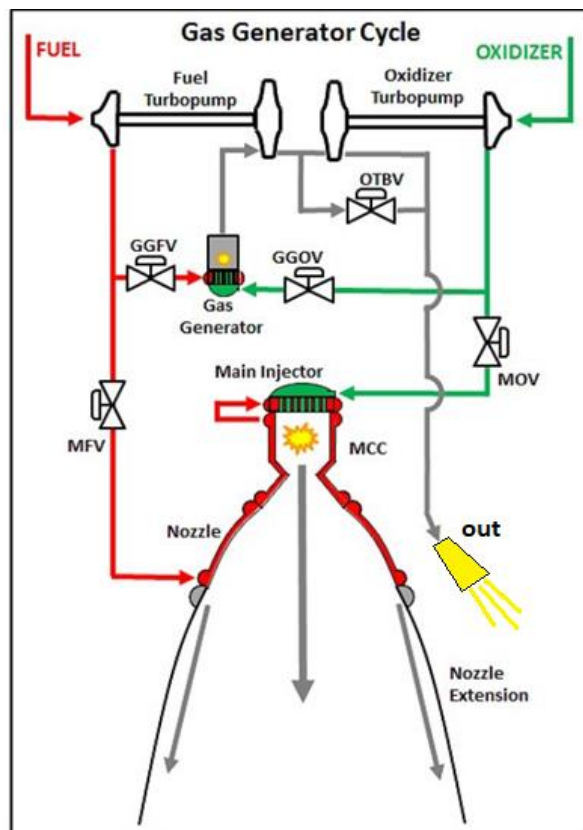
Ciclo aperto.

Il ciclo aperto o ciclo del generatore di gas è uno dei cicli di potenza più comunemente utilizzati nel motore a razzo a bipropellente liquido. Vediamo qui a fianco uno schema esplicativo.

Il ciclo generatore di gas estrae una piccola quantità di combustibile e ossidante (dal 2 al 7%) dal flusso principale (GGFV e GGOV) per alimentare un bruciatore chiamato generatore di gas. Il gas caldo di questo generatore passa attraverso una turbina per generare energia per le pompe che inviano i propellenti alla camera di combustione. Il gas caldo viene quindi scaricato fuori bordo o inviato a valle dell'ugello principale. L'aumento del flusso di propellenti nel generatore di gas aumenta la velocità della

turbina, che aumenta il flusso di propellenti nella camera di combustione principale e, quindi, la quantità di spinta prodotta.

Il generatore di gas deve bruciare propellenti con un rapporto di miscela non ottimale per mantenere bassa la temperatura per le pale della turbina.



Dove:

MCC = Camera di combustione principale

GG = Generatore di gas

MFV = Valvola combustibile principale

MOV = Valvola ossidante principale

GGFV = Valvola combustibile generatore gas

GGOV = Valvola ossidante generatore di gas

OTBV = Valvola bypass turbina ossidante

La fuel turbopump e la oxidizer turbopump possono essere sullo stesso albero o su due alberi diversi (miglior controllo della miscela).

Viene chiamato "ciclo aperto" perché i prodotti di scarico del generatore di gas non passano nella camera di combustione principale, ma



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

vengono espulsi o da un getto (non propulsivo) a parte o a valle dell'ugello principale.

Il grosso svantaggio del ciclo aperto è che lascia un sacco di carburante incombusto nel pennacchio di scarico del generatore di gas ed è anche per questo che gli impulsi specifici sono più bassi.

Fanno parte di questa categoria, tra gli altri, i seguenti motori e le relative aziende produttrici:

- **Vulcain, Ariane 5 e 6. Europa.**
- **Merlin, SpaceX, Falcon. USA.**
- **RS-68, NASA, USA.**
- **RS-27, Rocketdyne Delta, USA.**
- **J-2X, Rocketdyne SLS, USA.**
- **F-1, Rocketdyne, Saturn V, USA (singolo gas generator e singolo albero per entrambe le pompe).**
- **RD-107, JSC Kuznetsov, URSS.**
- **CE-20, India.**
- **YF-20, Cina.**
- **Rocket Lab, Nuova Zelanda.**
- **Miura, Spagna.**

In tutti questi motori viene utilizzato ossigeno liquido (LOX) come ossidante. Il carburante invece può essere in certi casi cherosene oppure idrogeno.

La principale differenza tra idrogeno e cherosene è la chimica. Un motore a idrogeno otterrà un impulso specifico più elevato rispetto a un motore a cherosene, ma i motori a cherosene hanno il netto vantaggio di essere in grado di generare più spinta per una data dimensione del motore.

Ecco perché in genere il cherosene si usa per un'applicazione di primo stadio come sul veicolo Saturn V con F1.

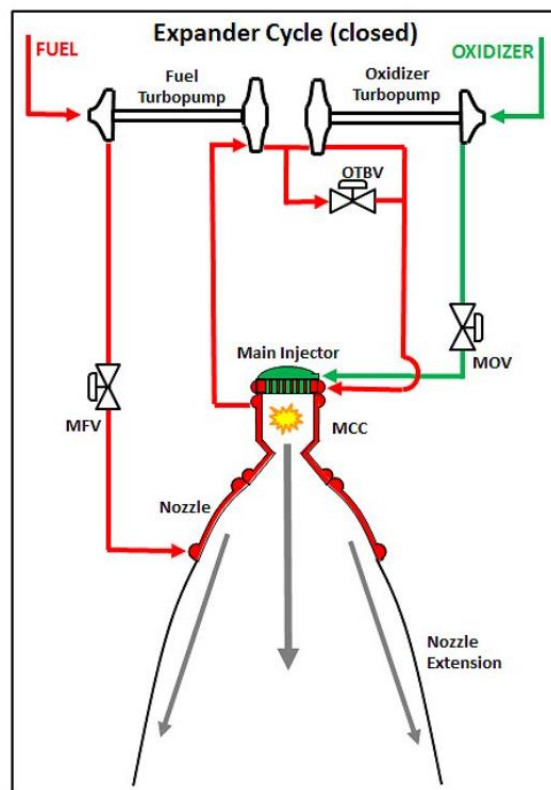
Successivamente, negli stadi superiori, si può utilizzare meglio il maggior rendimento offerto dall'idrogeno.



Prima di approfondire il ciclo chiuso vero e proprio è necessario evidenziare un altro approccio, molto più semplice (ma molto meno

efficace) che possiamo far rientrare nei sistemi a ciclo chiuso.

il ciclo ad espansione.



Per questo ciclo del motore, non si utilizza un generatore di gas per azionare le turbine, quindi non si dispone di una seconda zona di combustione separata oltre alla camera di combustione principale.

Come si vede nello schema qua sopra, si utilizza solo il calore raccolto nel raffreddamento del gruppo della camera di spinta (ovvero, le pareti della camera di combustione principale e quella parte dell'ugello raffreddata).

Un ciclo che si è sbarazzato non solo del generatore di gas, ma anche delle due valvole che alimentavano il generatore di gas.

Questa è una enorme semplificazione.

Qui, tuttavia, sta il problema: la potenza del fluido che raffredda le pareti non consente di ottenere potenze di pompe sufficienti per grossi motori.

Ci sono stati tentativi di aumentare il trasferimento di calore con vari mezzi, tra cui rendere la camera

di combustione principale più lunga del normale in modo da avere più area di trasferimento del calore o anche aggiungendo protuberanze o creste sulla parete per raccogliere più calore.

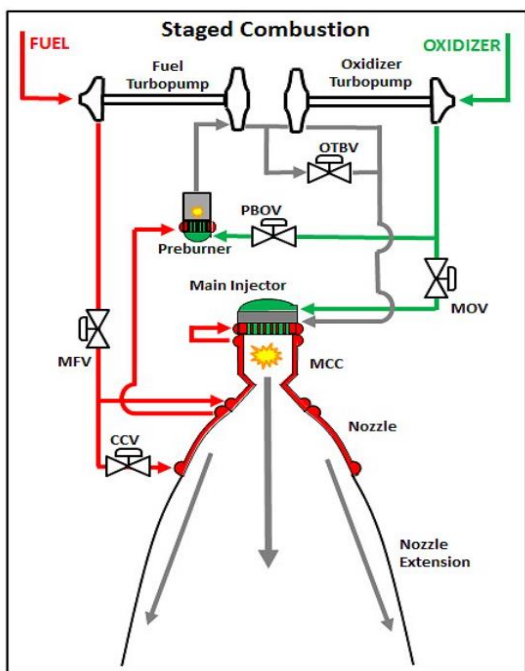
Si noti inoltre che l'idrogeno è un meraviglioso refrigerante basato sulle sue proprietà termodinamiche e ciò significa che raccoglie molto calore. È difficile immaginare di utilizzare il motore a ciclo di espansione con un altro carburante.

Tra i lati positivi, oltre alla semplicità, ciò che offre il ciclo mostrato è quello che viene chiamato un "ciclo chiuso", il che significa che nessun propellente viene gettato fuori bordo se non attraverso l'ugello principale.

Ciclo chiuso o a stadi.

Se si desidera un motore a ciclo chiuso, ad alte prestazioni, non limitato a livelli di spinta inferiori e si è disposti ad accettare la conseguente maggiore complessità bisogna utilizzare il ciclo di combustione a stadi.

Di seguito è riportato uno schema semplicistico per un motore a combustione a stadi.



Dove:

CCV = valvola di controllo del refrigerante

PBOV = valvola ossidante prebruciatore

In un motore a ciclo di combustione a stadi, il generatore di gas lo chiamiamo "prebruciatore".

La più grande differenza tra un ciclo del generatore di gas e un ciclo di combustione a stadi sta nell'uso dei gas di scarico della turbina dove in quest'ultimo vengono reimmessi nell'ugello principale e vengono "bruciati di nuovo".

Ciò è possibile poiché la combustione nel prebruciatore è fuori dalle condizioni stechiometriche, il che significa che oltre ai prodotti della combustione hai anche molto propellente residuo (carburante o ossidante a seconda dello schema).

I propellenti rimanenti dallo scarico della turbina entrano quindi a far parte della miscela di propellenti nella camera di combustione principale.

Sembra semplice, ma non lo è affatto.

Innanzitutto, su un motore a ciclo aperto, la pressione nel generatore di gas può essere inferiore a quella della camera principale. Dopotutto, il lato a valle della/e turbina/e è effettivamente costituito da condizioni ambientali ed esterne.

In un ciclo di combustione a ciclo chiuso, la pressione del prebruciatore deve essere sostanzialmente superiore alla pressione della camera principale situata a valle delle turbine o non si ottiene flusso sufficiente per alimentare le turbine.

Quindi, in generale, un motore a ciclo di combustione a stadi ha pressioni di sistema più elevate rispetto a un motore a ciclo di generatore a gas di dimensioni comparabili.

È chiamato "ciclo di combustione a fasi" perchè il propellente scorre attraverso più camere di combustione e viene quindi bruciato in più fasi.

La prima fase è il prebruciatore e la seconda è la camera di combustione principale .

Nel precombustore, una piccola porzione di propellente, solitamente ricca di carburante (come nella immagine), viene parzialmente bruciata e il flusso di volume crescente viene utilizzato per azionare le turbopompe che alimentano il motore con il propellente. Il gas viene quindi iniettato nella camera di combustione principale e bruciato



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

completamente con l'altro propellente per produrre spinta.

Il vantaggio principale è l'efficienza del carburante (impulso specifico più elevato) dovuta a tutto il propellente che scorre nella camera di combustione principale, che consente anche una maggiore spinta.

Lo svantaggio è la complessità ingegneristica, in parte a causa dello scarico del precombustore di gas caldo e altamente pressurizzato che, in particolare quando è ricco di ossidante, produce condizioni estremamente difficili per turbine e impianti idraulici.

I modelli di combustione a stadi possono essere **monoalbero** o **bialbero**. Nel design ad albero singolo, un prebruciatore e turbina azionano entrambe le turbopompe (carburante e ossidante).

Gli esempi ad albero singolo includono Energomash RD-180 e Blue Origin BE-4.

Nel design a doppio albero, le due turbopompe propellenti sono azionate da turbine separate, a loro volta azionate dall'uscita di uno o due precombustori separati.

Esempi di design a doppio albero includono il RS-25 (SSME), il JAXA LE-7, e il Raptor.

Rispetto ad un design a singolo albero, il design a doppio albero richiede una turbina aggiuntiva (ed eventualmente un altro prebruciatore), ma consente il controllo individuale delle due turbopompe.

Cenni storici

La combustione a stadi fu proposta per la prima volta dal sovietico Alexey Isaev nel 1949. Il primo motore a combustione a stadi fu l'S1.5400 (11D33) utilizzato nel razzo planetario sovietico, progettato da Melnikov, un ex assistente di Isaev. Più o meno nello stesso periodo (1959), Nikolai Kuznetsov iniziò a lavorare sul motore a ciclo chiuso NK-9 per l'ICBM orbitale di Korolev, GR-1. Kuznetsov in seguito ha evoluto quel progetto nei motori NK-15 e NK-33 per il razzo Lunar N1, che fu un fallimento.

Ai tempi dell'Unione Sovietica, furono sviluppati un'intera serie di motori a ciclo di combustione a stadi che utilizzavano invece il cherosene come

carburante. In questi motori, il prebruciatore era ricco di ossidante.

L'RD-180 fornito dalla Russia ed utilizzato fino allo scorso anno per il veicolo di lancio Atlas V, è un esempio di tale motore.

Anch'esso è estremamente complesso, ad alta pressione e ad alte prestazioni.



RD-180 (fonte Pratt Whitney)

La risposta americana venne dopo, con il motore principale dello Space Shuttle, il RS-25 (o SSME, Space Shuttle Main

Engine).

È stato ed è un esempio di motore a combustione a fasi e il primo a utilizzare ossigeno e idrogeno liquidi. Un motore estremamente efficiente ed ecosostenibile (i gas di scarico sono vapore acqueo).

La sua controparte nella navetta sovietica era l' RD-0120 , simile come impulso specifico, spinta e pressione della camera di combustione, ma con alcune differenze che riducevano la complessità e il costo a scapito dell'aumento del peso del motore.

Avviamento.

All'avvio del sistema, le due zone di combustione si trovano su entrambi i lati della/e turbina/e, quindi c'è una comunicazione diretta tra queste due zone.

Ora, provate ad immaginare di accendere queste due zone di combustione e portarle alla pressione operativa (circa 300 bar) e far girare le turbine fino a raggiungere la velocità giusta in modo orchestrato durante la sequenza di avvio.

Non è facile, richiede parecchi secondi di tempo ed un controllo computerizzato delle valvole e dei sensori di flusso e pressione.

Con questo ciclo però si ottengono alte prestazioni e ad alta spinta.

L'RS-25, l'esempio americano di un tale motore, non ha uno ma due precombustori separati, uno per la turbopompa carburante (H₂) ad alta pressione e uno per la turbopompa comburente (LOX) ad alta pressione.

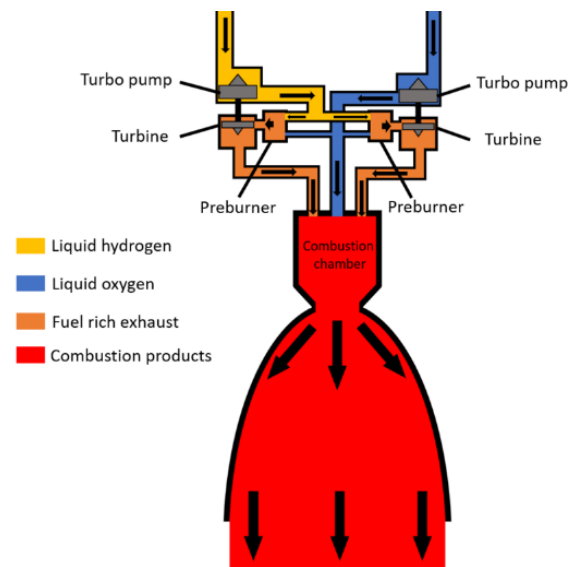
È un motore molto complesso, ma ha capacità straordinarie.

L'ho preso come esempio perché lo conosco abbastanza bene e penso sia la configurazione ideale per confrontarlo con l'obiettivo del nostro articolo, il Raptor 2.

Infatti, entrambi sono considerati motori full flow staged combustion cycle (FFSC) anche se in effetti il RS-25 non lo è.

Non lo è perché pur avendo due precombustori, entrambi vengono fatti funzionare con carburante ricco in modo tale che i gas generati contengano idrogeno in eccesso per l'iniezione nella camera principale.

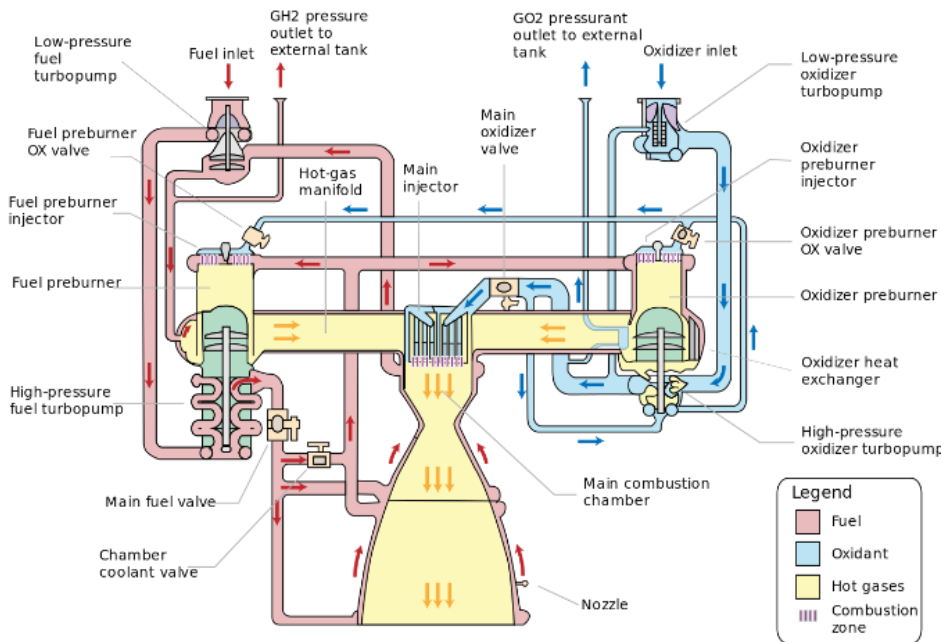
Nel Full Flow Staged invece, come appunto è il Raptor 2, i due precombustori bruciano uno con miscela ricca di carburante e l'altro ricco di ossidante.



Schema a stadi semplificato del RS-25. Come si vede entrambi i bruciatori usano una miscela ricca di idrogeno.

Quindi, i motori a ciclo di combustione a stadi non sono facili. La loro complessità e le condizioni operative suggerirebbero genericamente un maggior costo di produzione ed una minore affidabilità.

Ma se si riesce a trovare un compromesso tra prestazioni elevate e problemi negativi, allora si possono ottenere prestazioni straordinarie. Quasi trent'anni di voli dello Space Shuttle ne sono una dimostrazione indiscutibile.



A sinistra: schema dettagliato del ciclo chiuso a doppio preburner del RS-25.

Ciclo a fasi a flusso

pieno (FFSC).

La combustione a fasi a flusso pieno è un ciclo a doppio albero che utilizza prebruciatori ricchi di ossidante e ricchi di carburante. Il ciclo consente il flusso completo di entrambi i propellenti attraverso le turbine.

La turbopompa del combustibile è azionata dal prebruciatore ricco di combustibile e la turbopompa ossidante è azionata dal prebruciatore ricco di ossidante.

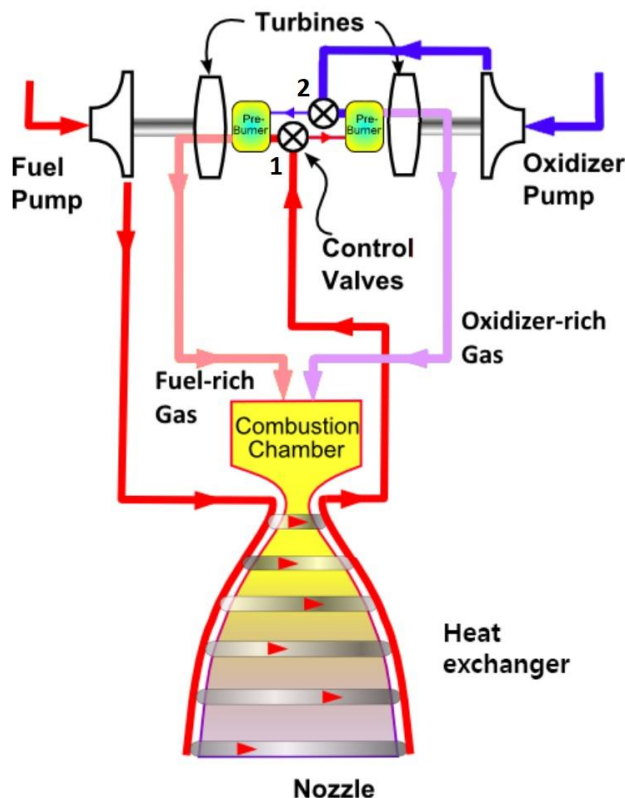
Vantaggi

I vantaggi del ciclo di combustione a fasi a flusso pieno includono turbine che funzionano a temperature più basse e a una pressione inferiore, a causa dell'aumento del flusso di massa, che porta a una maggiore durata del motore e maggiore affidabilità.

Inoltre, il ciclo a flusso pieno elimina la necessità di una guarnizione della turbina

interpropellente normalmente richiesta per separare il gas ricco di ossidante dalla turbopompa del carburante o il gas ricco di carburante dalla turbopompa dell'ossidante, migliorando così l'affidabilità.

Poiché l'uso di entrambi i precombustori di combustibile e ossidante comporta la completa gassificazione di ciascun propellente prima di entrare nella camera di combustione, i motori FFSC appartengono a una classe più ampia di motori a razzo chiamati **motori a gas**.

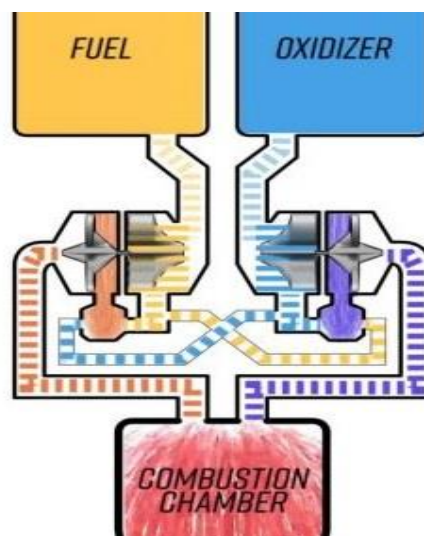


La completa gassificazione dei componenti porta a reazioni chimiche più rapide nella camera di combustione, consentendo una camera di combustione più piccola. Questo a sua volta rende possibile aumentare la pressione della camera, che aumenta l'efficienza.

Schema di principio di un FFSC a sinistra e dettaglio prebruciatori in basso.

In questo schema di principio si possono notare le due Control Valves (X) che regolano la quantità di combustibile e di ossidante. Quella più in basso a sinistra (1, alimentata dal carburante rosso) regola

il combustibile che entra nel preburner ricco di ossidante (a destra). L'altra valvola in alto a destra (2, alimentata dall'ossidante blu) regola il flusso di ossidante che entra nel preburner ricco di carburante (a sinistra).



Svantaggi

L'unico svantaggio è la **maggiore complessità ingegneristica** di due prebruciatori, rispetto a un ciclo di combustione a fasi a singolo albero, nonché un numero maggiore di parti, che si porta dietro **maggiori costi di produzione**.

Nel 2019, solo tre motori a razzo a combustione a stadi a flusso pieno erano progrediti sufficientemente per essere testati sui banchi di prova; il progetto sovietico Energomash RD-270 negli anni '60, il progetto dimostrativo Aerojet Rocketdyne Integrated powerhead finanziato dal governo degli Stati Uniti a metà degli anni 2000, e il motore Raptor con capacità di volo di SpaceX lanciato per la prima volta nel febbraio 2019.

Il primo test di volo di un motore a combustione a stadi a flusso pieno si è verificato il 25 luglio 2019 quando SpaceX ha fatto volare il suo motore Raptor *methalox* FFSC sul razzo di prova *Starhopper*, nel loro sito di lancio, a Boca Cica, nel sud del Texas.

Ora possiamo parlare di lui:

Il Raptor 2 di SpaceX

A destra: schema del flusso dei fluidi e delle pressioni del Raptor 2.

Raptor è una famiglia di motori a razzo a ciclo di combustione a fasi a flusso pieno sviluppati e prodotti da SpaceX per l'uso sull'astronave Starship.

Il motore è alimentato da metano liquido criogenico e ossigeno liquido ("*methalox*"), al contrario della combinazione RP-1 e ossigeno liquido ("*kerolox*") utilizzata nei precedenti motori a razzo Merlin e Kestrel di SpaceX.

Il motore Raptor ha circa il triplo della spinta del motore Merlin 1D di SpaceX, che attualmente alimenta i veicoli di lancio Falcon 9 e Falcon Heavy.

Sono motori che producono 2.255 kN di spinta (pari a 230 tonnellate, ma possono arrivare a 3MN, cioè 306 t.) e hanno un impulso specifico di 382 secondi a livello del mare mentre pesano solo 1.600 kg.

Di conseguenza, il motore Raptor 2 ha un **rapporto spinta/peso di circa 150:1**

L'alimentazione *metalox* consiste in metano liquido sottoraffreddato e ossigeno liquido sottoraffreddato in un ciclo di combustione a fasi a flusso pieno.

Il motore è progettato per un'estrema affidabilità, con l'obiettivo di supportare il livello di sicurezza delle compagnie aeree richiesto dal mercato del trasporto terrestre da punto a punto.

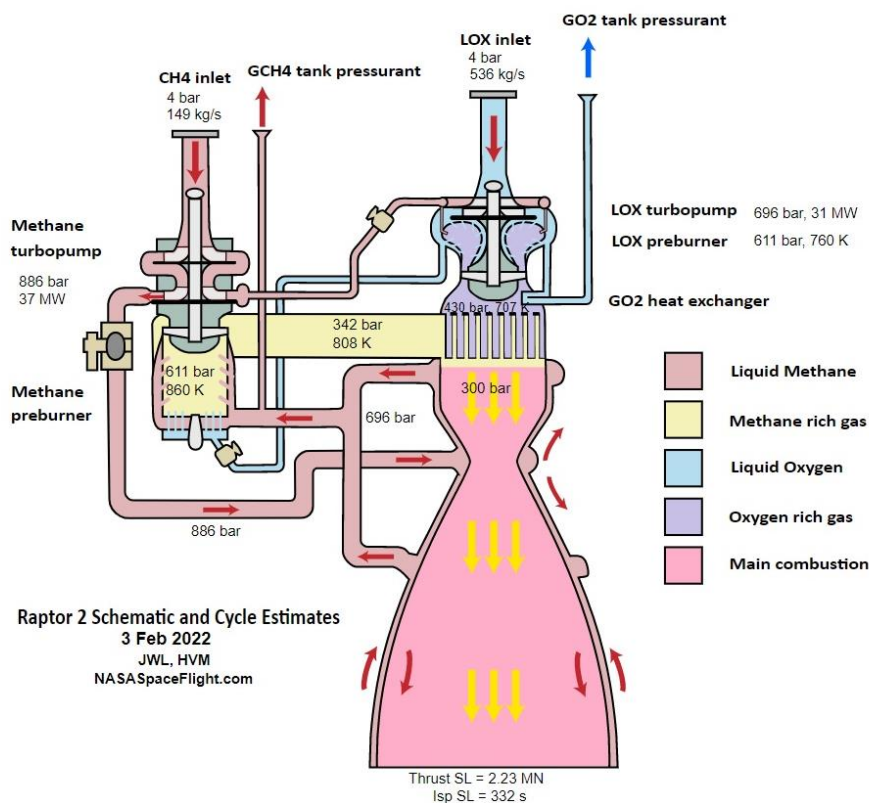


Diagramma del ciclo del motore a razzo Raptor 2 con stime da informazioni e analisi open source



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

È stato affermato che Raptor è in grado di fornire "una lunga durata ... e ambienti di turbina più favorevoli".

L'accensione, l'inizio del ciclo di combustione, per tutti i motori Raptor, sia sul pad che in volo, è stata gestita da **accenditori a torcia illuminati a doppia candela ridondanti** ⁽²⁾, eliminando la necessità di un fluido di accensione dedicato e consumabile, come utilizzato su Merlin.

Questo è stato cambiato per i motori Raptor 2 in cui le torce accese **sono state sostituite da un metodo di accensione segreto presumibilmente meno complesso, più leggero, più economico e più affidabile.**

Gli accenditori delle torce sono ancora utilizzati nelle testine di alimentazione e ossigeno.

Produzione e materiali

Molti componenti dei primi prototipi di Raptor sono stati realizzati utilizzando la stampa 3D, tra cui turbopompe e iniettori, con l'effetto di aumentare la velocità di sviluppo e test iterativi.

Nel 2019, i collettori del motore sono stati fusi dalla **superlega Inconel SX300** sviluppata internamente da SpaceX, che presto sarà cambiata in **SX500**.

Le leghe Inconel ⁽³⁾, sono resistenti all'ossidazione-corrosione adatti al servizio in ambienti estremi soggetti a pressione e calore.

Quando riscaldato, Inconel forma uno strato di ossido spesso, stabile e passivante che protegge la superficie da ulteriori attacchi.

Inconel mantiene la forza in un ampio intervallo di temperature, interessante per applicazioni ad alta temperatura in cui l'alluminio e l'acciaio soccombono a causa di formazione cristalline indotte termicamente.

La resistenza alle alte temperature di Inconel è sviluppata dal rafforzamento della soluzione solida o dall'indurimento per precipitazione, a seconda della lega.

⁽²⁾ L'accenditore del Raptor 2 è basato sul sistema TEA-TEB (triethylaluminium-triethylborane), un composto chimico ipergolico che si infiamma spontaneamente a contatto con l'ossigeno. Il TEA-TEB viene iniettato nella camera di combustione attraverso degli ugelli appositi prima dell'avvio delle turbopompe, creando una fiamma stabile che accende i propellenti principali.



Esempio di un motore a razzo Astra realizzato in Inconel.

Iniettori

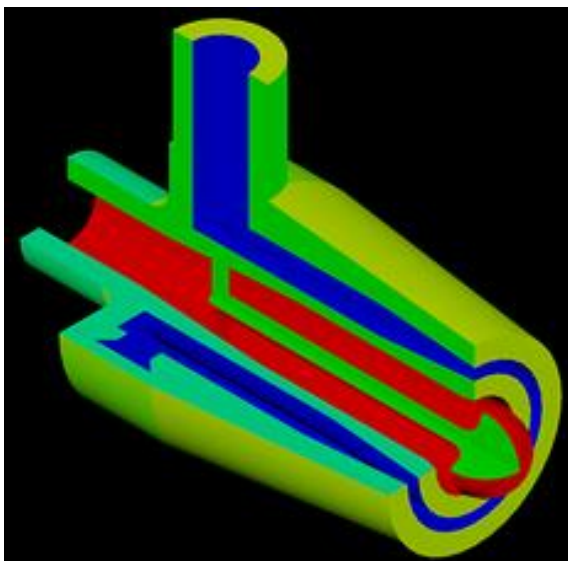
Il motore Raptor utilizza un gran numero di iniettori a **vortice coassiali** (non ho dati) per immettere i propellenti nella camera di combustione, piuttosto che gli **iniettori pintle** utilizzati sui motori a razzo Merlin prodotti in serie da SpaceX per la sua famiglia di veicoli di lancio Falcon.

⁽³⁾ *Inconel*, marchio registrato dell'azienda statunitense Special Metals Corporation. Una lega di nichel (48%-72%) e cromo (14%-29%). Altri nomi commerciali usati per indicare questa lega sono Chronin, Altemp, Nickelvac e Nicrofer.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023



Iniettore pintle, carburante in rosso, ossidante in blu.

Breve cenno storico del Raptor.

Nel luglio 2021, SpaceX annunciò che avrebbe costruito nel sud del Texas un secondo impianto di produzione per i motori Raptor.

La nuova struttura si concentrerà poi sulla produzione in serie di Raptor 2. Si prevede che il nuovo impianto produrrà da 800 a 1000 motori a razzo ogni anno. SpaceX punta a una vita di 1000 voli per Raptor.

I grandi volumi di produzione di questo motore che oggi, mentre scrivo, è di un motore al giorno ha già ridotto i costi a circa \$ 1.000.000 ciascuno. L'obiettivo è quello di arrivare ad un costo inferiore a \$ 250.000 cadauno.

Ogni booster Starship Super Heavy utilizza 33 Raptor 2, mentre ogni navicella spaziale Starship utilizzerà 3 Raptor con ugelli adatti a livello del mare più 3 Raptor ottimizzati per il vuoto.

Raptor 2 è una riprogettazione completa del motore Raptor versione 1.

La turbomacchina, la camera, l'ugello e l'elettronica sono stati tutti riprogettati, oltre all'eliminazione di alcune parti e alla conversione di molte flange in saldature. I motori Raptor 2 hanno subito ulteriori semplificazioni durante il loro ciclo di produzione.

SpaceX ha completato la missione Starship Flight Test il 20 aprile 2023. Il Super Heavy

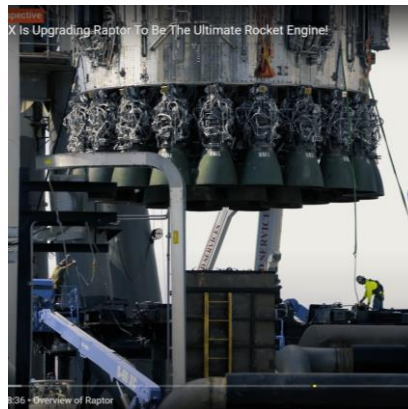
aveva 33 motori Raptor 2 durante il lancio, ma 3 di questi si erano già guastati quando il razzo ha iniziato a sollevarsi dalla rampa di lancio. La missione si è conclusa dopo 4 minuti di volo dopo essere salito all'apogeo di ~ 39 km sul Golfo del Messico.

Il veicolo con più motori spenti durante il test di volo ha perso quota ed ha iniziato a cadere.

Il sistema di terminazione del volo è stato comandato sia sul booster che sulla nave.



Raptor 2 Vacuum (sullo sfondo) e un Raptor 2 a livello del mare (in primo piano).

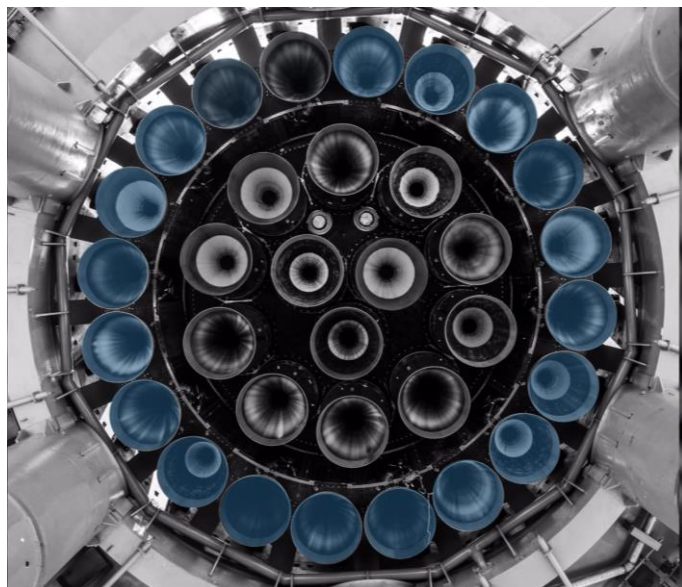


I 33 raptor 2 assemblati sulla Starship.

Associazione Culturale "Il C.O.S.MO." (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena); C.F.:94144450361 pag: 11 di 26

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati. È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo". La loro diffusione all'esterno del circolo è vietata.

Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici. - Costo: Gratuito sul WEB per i soci - Arretrati: Disponibili e gratuiti sul WEB per i soci.



Vista da sotto del SuperHeavy con i 33 Raptor 2. Si noti la serie esterna a cui nel Raptor 3 verranno tolti i sistemi di orientamento (gimbaling).



Linea di produzione dei Raptor 2.

Nuovi sviluppi: Raptor 3

Lo SpaceX Raptor 3 è stato recentemente testato e ha raggiunto il 18% in più di spinta rispetto a un Raptor 2. Il Raptor 2 aveva il 25% in più di spinta rispetto al Raptor 1 ed era il 20% più leggero.

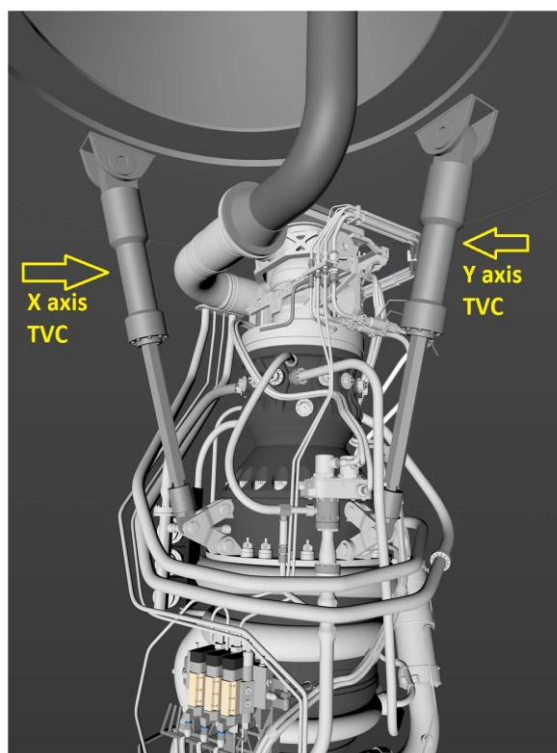
Everyday Astronaut ha rivisto il lavoro svolto da SpaceX per ridurre le parti non necessarie e ridurre il peso dei motori Raptor.

SpaceX rimuoverà il gimbaling (TVC actuators) sui motori esterni, sostituirà gli attuatori

idraulici **con servodrive elettrici** e rimuoverà anche la copertura del razzo ove possibile.

È probabile che oltre ad aumentare la spinta SpaceX abbia continuato a ridurre il peso di altri 200 chilogrammi.

Ciò significherebbe ridurre il peso del razzo di 8 tonnellate per i 39 motori del primo più secondo stadio della **Super-Heavy-Starship**.



I due attuatori idraulici (poi elettrici) per il movimento sugli assi X e Y per il controllo di beccheggio, imbarcata e rollio (gimbaling) di un Raptor 2 (TVC actuators)

Di seguito troverete varie tabelle riassuntive dove vengono rappresentati:

Fig.1: un confronto tra le varie caratteristiche dei motori di SpaceX.

Fig.2: un confronto di sintesi dei cicli di alimentazione più noti.

Fig.3: Rapporti di massa carburante-ossidante per i vari tipi di combustibile.

Fig.4: uno schema del Raptor 2 con i tipi di fluido utilizzati nei vari circuiti.

	Raptor 1	Raptor 2	Raptor 3	Raptor X
Mass	2000 kg	1600 kg	1400 kg	1200 kg
Thrust	185 tons	230 tons	269 tons	320 tons
Chamber Pressure	250 bar	300 bar	350 bar	450 bar
Specific Impulse	330	327	327	327

Fig.1 Tabella di confronto tra gli attuali Raptor 1, 2 e 3 e quello che ha ancora in mente Elon Musk (RaptorX).

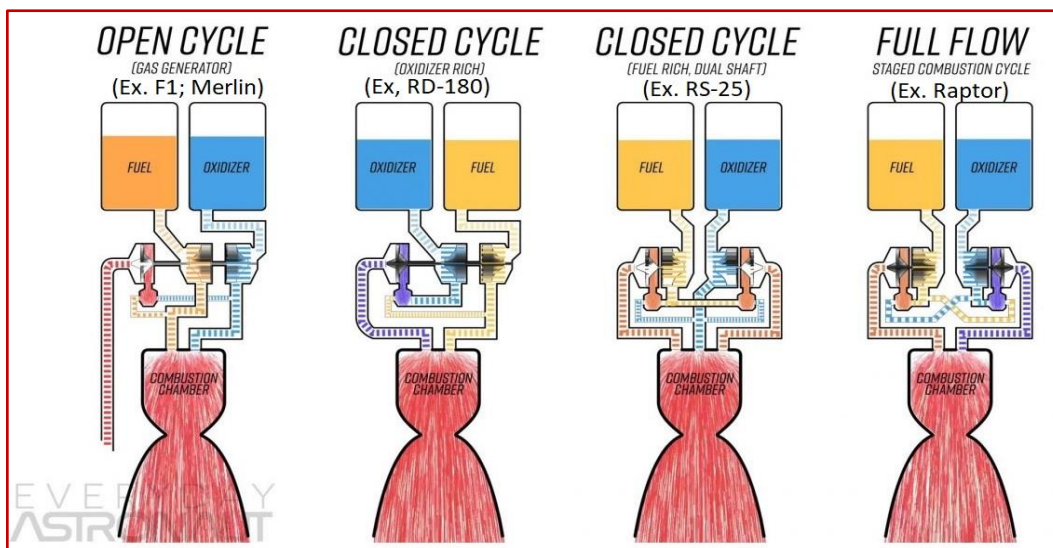
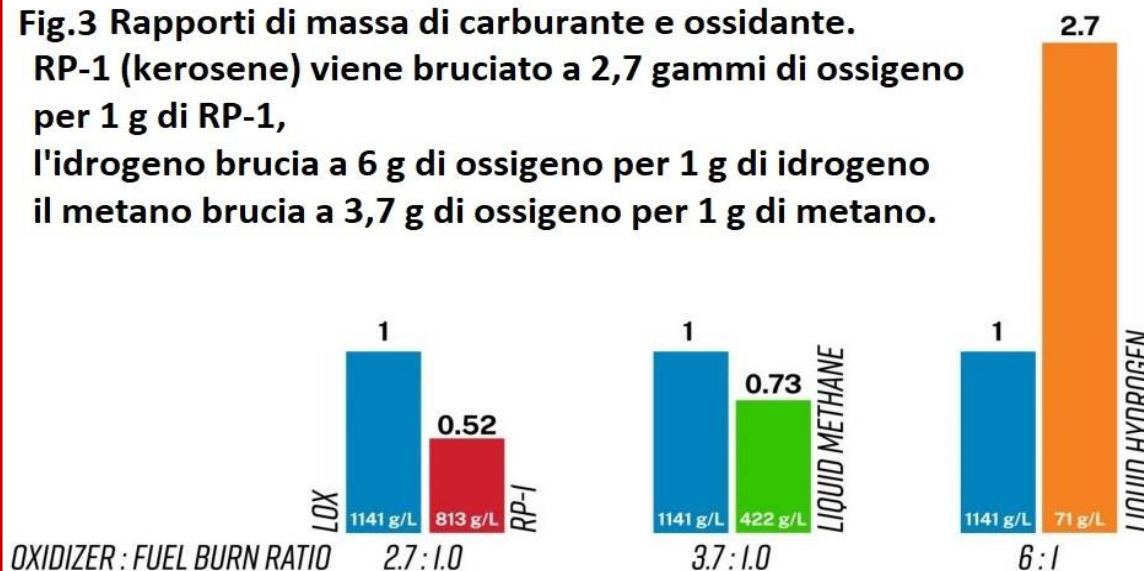


Fig.2 Sintesi dei cicli più utilizzati

Fig.3 Rapporti di massa di carburante e ossidante.
 RP-1 (kerosene) viene bruciato a 2,7 grammi di ossigeno per 1 g di RP-1,
 l'idrogeno brucia a 6 g di ossigeno per 1 g di idrogeno
 il metano brucia a 3,7 g di ossigeno per 1 g di metano.



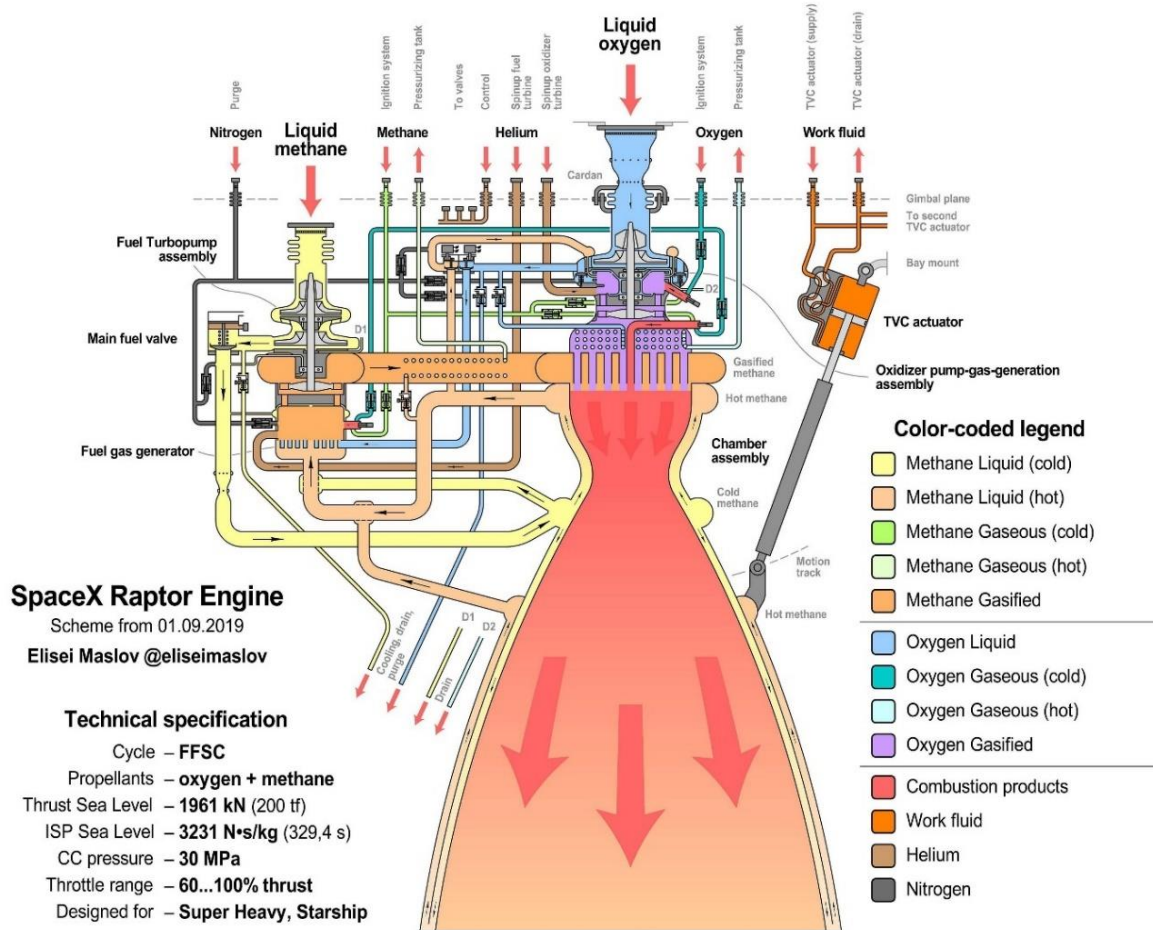


Fig 4: Raptor 2, stato dei gas, flussi e sistema di orientamento TVC (gimbaling)

Fonti:

https://blogs.nasa.gov/J2X/2012/08/08/post_1344_432475773/

https://en.wikipedia.org/wiki/Staged_combustion_cycle

https://www.wikiwand.com/en/SpaceX_Raptor

https://en.wikipedia.org/wiki/Staged_combustion_cycle#Full-flow_staged_combustion_cycle

<https://www.astrospace.it/2020/05/17/tutto-quello-che-dovete-sapere-sul-motore-raptor-di-spacex/>

<https://youtu.be/sjp-J7Tz1Wg>

Book:

Introduction to Rocket Science and Engineering, Travis S. Taylor, CRC Press.

Starship di SpaceX vs N1 il razzo lunare della U.R.S.S. Di Leonardo Avella.

La Starship è condannata al fallimento come la sua cugina russa?



(Nota: l'articolo è la traduzione in italiano di questo post del bravissimo Everyday Astronaut: <https://everydayastronaut.com/starship-vs-n1/>)

Il 20 aprile 2023, l'astronave di SpaceX e il suo booster Super Heavy hanno battuto il record che fino a quel momento era del razzo sovietico N1, ovvero quello del razzo più potente del mondo.

Nonostante grandi differenze sia dal punto di vista dell'epoca che del luogo in cui sono stati costruiti, i due razzi condividono sorprendenti somiglianze. In questo articolo esploreremo le somiglianze tra N1 e Starship, analizzeremo i rispettivi progetti ed esamineremo le ragioni alla base delle loro scelte, principalmente riguardanti i motori. Inoltre, discuteremo delle filosofie che hanno guidato il loro sviluppo.

Iniziamo confrontando l'N1 e Starship mettendoli fianco a fianco. L'N1 è stato l'ambizioso tentativo dell'Unione Sovietica di costruire un razzo lunare, con l'obiettivo di battere sul tempo il Saturn V degli Stati Uniti. N1 era un enorme razzo largo 17 metri alla base, che si

assottigliava fino a 6 metri negli stadi superiori, alto ben 105 metri. Quando era pieno di carburante, pesava 2.735 tonnellate.

Starship è ancora più alta: raggiunge i 120 metri. Entrambi gli stadi hanno un diametro di 9 metri. La differenza più grande, tuttavia, è il suo peso a pieno carico, che raggiunge circa 5.000 tonnellate, quasi il doppio di quello dell'N1.

Il design di Starship gli consente di trasportare fino a 150 tonnellate in orbita LEO, rendendolo il razzo più capiente mai costruito.

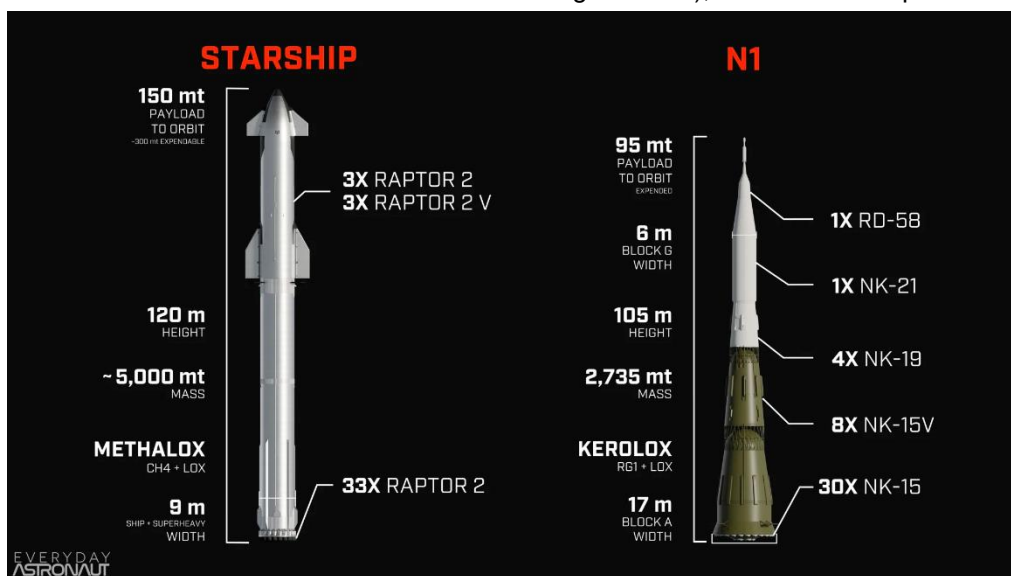
Per quanto riguarda il combustibile, N1 usava Kerolox ovvero una combinazione di RG-1 (kerosene più denso dell'RP-1 usato dal Saturn V) e ossigeno liquido.

Starship invece usa Metalox, ovvero una miscela di metano liquido ed ossigeno liquido.

Un'altra differenza risiede nel numero di stadi. L'N1 russo ha un minimo di 3 stadi (e per la Luna ne avrebbe usati fino a 5, come il Saturn V). Starship invece ha solo due stadi: il primo stadio è denominato Super Heavy, mentre il secondo è denominato Starship. Entrambi questi stadi sono progettati per essere completamente riutilizzabili.

La somiglianza più evidente tra N1 e Starship risiede nel numero di motori: il primo stadio dell'N1 era dotato di 30 motori NK-15, mentre il booster Super Heavy di Starship può contare su 33 motori Raptor 2.

L'N1 aveva altri motori negli stadi successivi (si veda l'immagine sotto), mentre Starship si basa





Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno 15 - N° 3 - 1/09/2023

per il suo secondo stadio su una combinazione di tre Raptor ottimizzati per funzionare a livello del mare e tre Raptor ottimizzati per il vuoto. Tuttavia, è importante notare che queste configurazioni del motore per Starship potrebbero subire modifiche poiché il razzo è ancora in fase di sviluppo.

I motori NK-15 del primo stadio dell'N1 utilizzavano un **ciclo chiuso ricco di ossigeno**, una tecnologia che i sovietici avevano imparato nei primi anni '60. Questi motori producevano 1.526 kN di spinta e avevano un impulso specifico di 297 secondi a livello del mare, con una massa di circa 1.250 kg.

I motori Raptor 2 su Starship producono 2.255 kN di spinta e hanno un impulso specifico di 327 secondi a livello del mare, pesando solo 1.600 kg.

Di conseguenza, il motore Raptor 2 ha un rapporto spinta/peso superiore: circa 144:1 rispetto al rapporto 122:1 dell'NK-15. Ciò significa che il Raptor 2 è più efficiente e produce più spinta per chilogrammo, due vantaggi cruciali.

che si possono rompere ed un sistema più complicato? Sebbene sia vero che più motori hanno potenzialmente più punti di rottura, ci sono diversi vantaggi nell'aver molti motori più piccoli. Un primo vantaggio con molti motori più piccoli (rispetto ad avere meno motori più grandi) è che la perdita di un motore ha un impatto minore sui livelli di spinta totale.

Ad esempio, il razzo N1 aveva 30 motori che producevano 45 Mega Newton di spinta, mentre il



Saturn V aveva 35 Mega Newton di spinta da soli 5 motori. Se un motore si fosse guastato sul Saturn V, ciò avrebbe comportato una perdita di spinta del 20%, mettendo potenzialmente a repentaglio la missione.

Al contrario, perdere un motore dei 30 motori dell'N1 avrebbe comportato una perdita di spinta solo del 3%, che è entro margini accettabili per continuare la missione. (vedi figura sopra)

Inoltre, un numero maggiore di motori può fornire maggiore affidabilità complessiva in caso di guasto di un motore. Sebbene più motori aumentino le possibilità di un guasto, avere più motori consente al razzo di continuare a funzionare anche se un motore si guasta. Il razzo Falcon 9 di SpaceX, che utilizza nove motori, ha dimostrato questa affidabilità: ad oggi si sono verificati solo due spegnimenti di un motore durante la salita. Questi

Filosofia progettuale: perché così tanti motori?

Una domanda comune (e che mi sono posto anch'io) è: perché questi razzi hanno così tanti motori? Più motori non significano più componenti



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

guasti non hanno portato al fallimento della missione. Inoltre, il Falcon Heavy di SpaceX, equipaggiato con 27 motori, ha un record di successi nelle missioni (nessun fallimento fino ad oggi).

Per migliorare l'affidabilità, ogni motore può essere racchiuso in uno scudo di contenimento che, in caso di esplosione, impedisce che tale guasto colpisca i motori vicini. SpaceX ha realizzato importanti miglioramenti negli scudi di contenimento di Super Heavy in modo da aumentare sensibilmente la sicurezza.

Oltre ai vantaggi operativi sopra descritti, molti piccoli motori offrono vantaggi in termini di costi e una gestione più semplice. Le economie di scala entrano in gioco quando si produce un numero maggiore di motori più piccoli, consentendo un più rapido ammortamento dei costi di ricerca e sviluppo. SpaceX ha già ottenuto significative riduzioni dei costi nella produzione di motori, con i motori Raptor 2 che costano meno di \$ 1.000.000 ciascuno, rispetto al motore F-1 sul Saturn V, che costava circa \$ 115.000.000 per motore (valore calcolato in valuta odierna tenuto conto dell'inflazione). I motori più piccoli sono anche meno soggetti a problemi di instabilità della combustione che i motori più grandi possono affrontare.

Inoltre, motori più piccoli sono più facili da maneggiare, testare, installare e trasportare. Tassi di produzione più elevati e test più frequenti offrono maggiori opportunità per identificare i difetti e apportare miglioramenti nella produzione. Con motori più piccoli, c'è più tempo per fare test, perfezionarne il design e garantirne l'affidabilità.

Anche se i voli iniziali di Starship hanno mostrato alcuni problemi ai motori, SpaceX ha prodotto oltre 300 motori Raptor e implementato un regime di test più rigoroso, con l'obiettivo di ottenere un'affidabilità eccezionale. La decisione di far volare le prime versioni del razzo, nonostante le

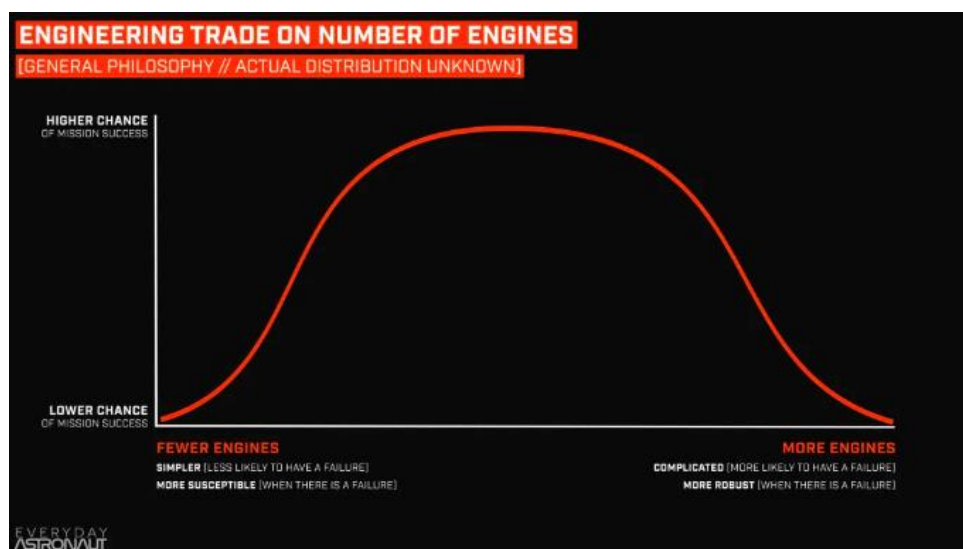
minori probabilità di successo, è guidata dalla necessità di imparare e migliorare il sistema il più velocemente possibile, approccio simile a quello dell'Unione Sovietica con l'N1.

Impara Volando.

L'Unione Sovietica aveva opzioni limitate con il razzo N1 a causa della sua incapacità di condurre test di accensione statica in maniera approfondita. Non potevano nemmeno testare staticamente ogni singolo motore, poiché i motori NK-15 utilizzavano elementi pirotecnici per aprire le valvole, rendendoli monouso.

Invece, hanno scelto di testare solo un motore su sei (molti post online dicono uno su tre, ma non è corretto) per identificare errori di produzione.

Di conseguenza, i motori utilizzati nei voli N1 non sono mai stati testati prima del lancio. Ciò ha costretto i sovietici a fare affidamento sui test di lancio come unico mezzo per valutare le prestazioni dell'N1.



SpaceX ha scelto una filosofia simile di test con Starship, nonostante abbia potuto condurre test sui motori, compresi quelli di accensione statica. In SpaceX sono convinti che i test, anche se falliscono, forniscano dati e suggerimenti preziosi per gli sviluppi. Piuttosto che cercare di risolvere in una volta sola e prima dei test tutte le complessità del volo, dell'atterraggio e del riutilizzo del razzo più grande del mondo, SpaceX adotta un approccio graduale, imparando da ogni

Associazione Culturale "Il C.O.S.MO." (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena); C.F.:94144450361 pag: 17 di 26

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati. È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo". La loro diffusione all'esterno del circolo è vietata.

Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici. - Costo: Gratuito sul WEB per i soci - Arretrati: Disponibili e gratuiti sul WEB per i soci.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58°- Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

test. Il primo volo di prova di Starship mirava a superare la rampa di lancio senza guasti catastrofici. Anche se ha provocato violente ed inaspettate espulsioni di brandelli di cemento che hanno danneggiato parti del complesso di Boca Chica, il volo ha convalidato vari aspetti, tra cui il passaggio attraverso Max Q (il punto di massima pressione dinamica), la bontà delle tegole dello scudo termico sottoposte ad un forte vento e la conferma della funzionalità dell'elettronica. SpaceX ha acquisito esperienza nel mondo reale e identificato aree di miglioramento.

La domanda sorge spontanea: perché sia SpaceX che l'Unione Sovietica hanno optato per questo processo di progettazione iterativo invece di progettare e testare a fondo ogni parte preventivamente per ottenere alti tassi di successo sul primo volo?

La risposta sta nel contesto. Il razzo SLS della NASA, ad esempio, è stato sottoposto a numerosi test per oltre 12 anni, mirando a prestazioni impeccabili per evitare la cancellazione del programma. L'SLS ha ottenuto un alto grado di successo al suo primo lancio, ma a un costo economico significativamente più alto.

D'altra parte, Starship ha iniziato lo sviluppo del motore nel 2016 e nello stesso periodo ha iniziato il programma spaziale per l'intero vettore. Ci sono voluti sette anni per condurre il primo test di volo integrato e il razzo è ancora lontano dall'essere operativo. Tuttavia, il processo iterativo consente una rapida produzione, evoluzione e miglioramento di Starship, potenzialmente più velocemente di SLS.

SpaceX segue un approccio **"costruisci velocemente, testa, rompi cose, vola, fai esplodere cose, impara da esso, ripeti"**, simile alla filosofia dell'Unione Sovietica. Mentre l'N1 ha affrontato un destino diverso, il futuro di Starship rimane incerto.

Tuttavia, considerando il suo potenziale in termini di capacità operative, miglioramento continuo e adattabilità, Starship è pronta a crearsi il proprio posto nella storia e raggiungere il successo nei prossimi anni.

Starship subirà lo stesso destino del razzo N1?

Il fallimento del razzo N1 non può essere attribuito esclusivamente al numero di motori che aveva. Sebbene il numero di motori abbia avuto un ruolo, la causa principale del guasto fu principalmente la qualità dei motori NK-15, non la loro quantità. Questi motori erano relativamente nuovi, non testati e soggetti a guasti. La mancanza di test sia per i motori che per l'intero primo stadio, unita all'uso di un sistema informatico primitivo chiamato KORD per gestire i numerosi motori, ha creato la ricetta perfetta per il disastro.



Un razzo N1 alla partenza.

Anche la modalità di sterzata utilizzata dall'N1, tramite differenziale di spinta tra i motori poneva delle sfide complesse. Richiedeva comandi precisi dell'acceleratore e comportava più tempo trascorso nei transitori mentre i motori aumentavano o diminuivano la loro spinta. Se un motore si fosse spento, il computer KORD avrebbe dovuto spegnere il motore opposto per mantenere la stessa direzione. Ciò significava che l'N1 poteva permettersi di perdere solo due motori poiché ogni arresto richiedeva l'arresto anche del motore opposto, lasciando poco spazio agli errori. Al contrario, il booster Super Heavy di Starship guida principalmente attraverso i 13 motori centrali, che sono dotati di gimbal (anche detto giunto cardanico). Il giunto cardanico consente ai motori di ruotare e fornire il controllo di beccheggio, imbardata e rollio. I motori Raptor



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58°- Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

utilizzati in Starship hanno un'impressionante escursione cardanica di 15 gradi e possono effettuare regolazioni rapide utilizzando controlli servo elettromeccanici. Ciò significa che, se un motore si guasta, Starship può mantenere il controllo direzionale regolando l'orientamento degli altri motori, senza dover spegnere coppie di motori opposti.

Nonostante le sfide affrontate dall'N1, si ritiene che alla fine i russi avrebbero risolto i problemi e migliorato le prestazioni del razzo. L'N1-F, la successiva iterazione dell'N1, avrebbe avuto motori aggiornati e più affidabili, denominati NK-33.

Starship beneficia di oltre 50 anni di progressi nelle tecnologie informatiche e aerospaziali. I computer moderni consentono ai motori di rilevare anomalie e spegnersi prima che si verifichino guasti catastrofici. Inoltre, SpaceX ha un solido flusso di entrate economiche derivante dall'essere un fornitore leader nei lanci in orbita di satelliti e dalla rapida espansione del suo servizio Internet Starlink.

SpaceX sta investendo risorse significative in Starship e ha l'obiettivo di produrre in serie tali bestioni.

Il track record di SpaceX nel raggiungere imprese un tempo ritenute impossibili e il suo impegno per l'innovazione li rendono meno suscettibili all'esaurimento dei fondi economici o alle battute d'arresto improvvise.

SpaceX sta già sviluppando più strutture per aumentare la produzione di Starship; ci sono già diversi veicoli in fase di completamento.

Sebbene al momento non dispongano di una piattaforma di lancio funzionante, è ragionevole credere che SpaceX troverà presto una soluzione anche a questo problema.

In sintesi, mentre l'N1 ha affrontato difficoltà significative, Starship ha il vantaggio di progressi tecnologici, stabilità finanziaria e una comprovata esperienza nel superare i propri limiti.

L'impegno di SpaceX per l'innovazione, il design iterativo, le economie di scala e la riusabilità posizionano Starship per un futuro di successo ed hanno il potenziale per rivoluzionare ancora una volta il trasporto spaziale.



Boca Chica; Come nasce un sogno...

Di *Ciro Sacchetti.*

Quando ho appreso le prime notizie su questa nuova base di lancio ricordo che non mi sorprese più di tanto, Elon Musk ci aveva già abituato ad iniziative spettacolari, ma non avrei mai pensato che da una idea ne scaturisse un poligono di lancio che al suo debutto scardinasse subito molti record...

Il 14 marzo del 2002 nasce la SpaceX, nessuno poteva immaginare quello che sarebbe successo, o che cosa sarebbe diventata in futuro questa agenzia spaziale.

Musk aveva tentato qualche tempo prima di creare SpaceX, di acquistare presso la Roscosmos una fornitura di alcuni ICBM allo scopo di inviare nello spazio di carichi leggeri, satelliti di modeste dimensioni, vorrei ricordare che all'epoca Musk era un giovane imprenditore di successo, aveva appena venduto Pay-Pal e non aveva ancora acquisito Tesla cosa che accadrà di lì a poco tempo (2003).

Ma i vertici di Roscosmos avevano liquidato Musk e Amedeo Ressi, il suo braccio destro, con superficialità. Fu un grave errore...

Sulla via del ritorno mentre tutto il suo entourage tentava di digerire lo smacco, lui, Musk lavorava alacremente al PC senza sosta, ad un certo punto quando tutti erano certi che Musk fosse un inguaribile "Nerd" che alle difficoltà si rifugiava dietro lo schermo di un Lap-Top, si alzò in piedi e annunciò: "Signori il razzo ce lo costruiamo noi, senza l'aiuto di nessuno!!!" E mostra preventivi di spesa, grafici e bozze di razzi lanciatori e motori (che diventeranno in seguito i Merlin), e tutti rimasero sbigottiti.... Il razzo in questione sarà il Falcon1 che al quarto tentativo, il 14 luglio 2009



Falcon 1

nell'atollo di Kwajalein, quando ormai sembrava finita, ebbe invece un inaspettato successo!!!!

Da quel momento in poi per SpaceX sarà una parabola in ascesa incredibile.

il primo incarico arriva il 23 dicembre 2008, proprio dalla NASA, la quale dà alla SpaceX la commessa per dodici voli a scopo rifornimento per la ISS. Viene sviluppato un lanciatore di nuovissima concezione, il Falcon 9 nella sua prima versione affinando la tecnica di recupero del primo stadio, sia su terra che in mare su chiatta.

La SpaceX acquisisce fama e clienti, questo gli dà la possibilità di avere capitali da investire, Elon Musk nel 2010 ventilava la possibilità di poter costruire un proprio poligono di lancio, contestualmente ha sempre affermato che la razza Umana avesse un impellente bisogno di poter colonizzare un altro pianeta per avere un vero e proprio cit. "backup della razza umana".

Tra il 2012 e il 2014 SpaceX valuta la fattibilità di costruire un proprio poligono di lancio in sette località diverse località negli Stati Uniti, inizia quindi una vera e propria ricerca del sito ideale per lanci orbitali commerciali e non solo....

Il sito deve avere alcune particolari caratteristiche: deve dare la possibilità di un sorvolo sull'acqua orientale per garantire la sicurezza in caso di fallimento e deve essere situato il più a sud possibile verso l'equatore per sfruttare la rotazione della Terra permettendo un importante risparmio di propellente.

Vengono esaminati inizialmente cinque potenziali siti in California, Alaska, Virginia, Florida e Texas, successivamente vengono presi in considerazione anche i siti in Georgia e Porto Rico arrivando così a sette, nel mentre erano iniziate da tempo (2011 circa) le trattative tra SpaceX e funzionari Statali per la realizzazione di un sito di lancio per voli commerciali non governativi, l'idea viene svelata nel 2011 in un discorso tenuto dai vertici e da Elon Musk stesso. Porto Rico rappresentava un contesto molto interessante già sede della stazione navale di Roosevelt Roads, ma di tutti e sette i candidati alla fine del 2012 il sito di Boca Chica in Texas diventa il favorito.



Lo stato del Texas dal canto suo, visto l'interessamento di SpaceX, si è prodigato per rendere realizzabile questo progetto modificando le leggi in tema di gestione del territorio, con la revisione delle norme in materia di inquinamento acustico, la chiusura di molte spiagge statali durante i lanci e un pacchetto di incentivi che contava circa quindici milioni di dollari.



Boca Chica Starbase

Sebbene oltre a Porto Rico rimanessero in lizza anche Florida e Georgia, l'esito dell'analisi fatta dall'ufficio del trasporto spaziale commerciale della F.A.A. che stabiliva la possibilità dal punto di vista ambientale di poter effettuare dodici lanci inclusi due lanci del possente Falcon Heavy nell'area del sito di Boca Chica, fece pendere per quest'ultimo l'ago della bilancia.

La commissione individuò cinquanta ettari circa divisi su tre appezzamenti ad uso logistico, Centro di controllo, uffici, edifici di assemblaggio ecc. SpaceX nel 2012, aveva affittato ventitré ettari in prossimità del capolinea della Texas State Highway, una parte sarebbe stati utilizzati per la costruzione dei siti di lancio verticale (8 ettari), sul fronte della gestione ambientale bisognava affrontare il tema dell'affluenza alle spiagge adiacenti al futuro spazioporto.

Nel settembre 2013, lo stato del Texas, la contea di Cameron e il G.L.O. General Land Office firmarono un accordo che stabiliva le chiusure delle spiagge durante i lanci della agenzia di Elon Musk che sarebbero state approvate con una durata che non doveva essere superiore alle quindici ore per ogni data di lancio, e non più di tre lanci a ridosso dei sabati precedenti il Memorial Day e il Labor Day, permettendo la normale l'affluenza alle spiagge del Texas ai

bagnanti, ma consentiva anche un accesso in zone sicure al pubblico che voleva assistere ai futuri lanci, e non ultima la prospettiva di uno sviluppo economico per la contea di Cameron. Facendo un salto indietro nel tempo, quando SpaceX non aveva ufficialmente ancora preso una decisione definitiva in merito a Boca Chica, nel giugno 2012 iniziò ad acquistare un grande

numero di immobili nella contea di Cameron, nel maggio 2013 vennero acquistati cinque lotti nella sottodivisione Spanish Dagger, adiacenti alla autostrada 4 che porta in prossimità dei lotti proposti per lo spazioporto, continuerà tra la fine di maggio e luglio 2013 con l'acquisizione di sette lotti per un totale di altri 11.000 metri quadri.

Nel luglio 2014 la F.A.A. rende nota la sua valutazione ambientale che ha un esito positivo sulla proposta di SpaceX, successivamente vengono acquistati 170.000 metri

quadri e affittati altri 230.000 attraverso una società denominata Dogleg Park LLC in un'area compresa tra la cittadina di Boca Chica e la spiaggia, per tutto il 2014 vennero acquisiti altri lotti per un totale di 87 (405.000 metri quadri) 13 dei quali vennero battezzati in "Mars Crossing".

Mentre per tutto il 2014 continuano le acquisizioni non solo di lotti di terreno ma anche di immobili offrendo molto di più del prezzo di mercato e di appezzamenti di terreno ad uso edilizio, il 22 settembre si svolge la vera e propria cerimonia



High Bay



di inaugurazione dello Spazioporto di Boca Chica battezzato come già detto con il nome di "South Texas Launch Site", Elon Musk e il Governatore del Texas Rick Perry posano emblematicamente la prima pietra dove sorgerà la prima rampa di lancio, Musk si lascia andare affermando "Il primo Uomo che metterà piede su Marte partirà da qui!".



Inaugurazione del sito di lancio di Boca Chica

SpaceX intendeva adibire le sue rampe per il Falcon 9 e il Falcon Heavy, ma sarà proprio il successo del recupero del primo stadio del Falcon 9 il 22 dicembre 2015, a segnare un altro destino per il nuovo spazioporto.

SpaceX cresce e aumentano anche le ambizioni di Musk il quale pensa ad un nuovo lanciatore pesante con una capacità di lancio in termini di payload (carico utile) e dimensioni addirittura superiori allo Space Shuttle e al mitico Saturn V, con un numero di motori che superava quelli del N1 Sovietico, un progetto mai visto!!!

Nel 2016 iniziano i lavori veri e propri con il consolidamento dei siti destinati alle rampe di lancio verticali (81.000 metri quadri) che verranno dotati delle apparecchiature per supportare i test dei nuovi motori Raptor che saranno alimentati a metano, e per i test del nuovo lanciatore pesante che inizialmente doveva chiamarsi "Mars Colonial Transporter" (MCT), ma che cambierà nome diverse volte, passando anche attraverso il nome fin troppo storpabile di "Big Falcon Rocket" (BFR) finendo

per essere definitivamente battezzato Starship. La previsione di spesa per SpaceX era di 100 milioni di dollari in quattro anni circa per la costruzione e lo stato del Texas prevedeva una spesa di circa 15 milioni di dollari per le utenze e le infrastrutture necessarie allo spazioporto, il successo del recupero del primo stadio del Falcon 9 permette a SpaceX di poter lanciare da Cape Canaveral e da Vandenberg, ma il primo settembre 2016 l'esplosione del Falcon 9 (F9-029) in Florida presso il Cape Canaveral Air Force Station fermo sul Space Launch Complex 40, blocca i lavori di costruzione di Boca Chica per un anno.

È un duro colpo per SpaceX che vede lo spettro di una recessione, vede la possibilità che i suoi clienti cambino idea e si rivolgano alla concorrenza, Ariane 5, Roscosmos, la stessa Boeing con la quale condivide i voli per i rifornimenti alla ISS, alla fine SpaceX è solo una agenzia spaziale privata che basa la propria immagine su una incredibile economicità legata ad una grande affidabilità, appunto; l'affidabilità!!!

Con una esplosione avvenuta sulla rampa di lancio, durante le operazioni preliminari di uno "Static Fire" (una prova di accensione motori statica, di pochi secondi) l'immagine di SpaceX si offusca, questo perché il Falcon 9 è il lanciatore di punta di questa agenzia, e sarà il razzo che dovrà essere valutato dalla FAA come il lanciatore che spingerà la nuova capsula Dragon con il suo carico di Astronauti, verso la ISS per il cambio di equipaggio, e questo incidente non ci voleva...



Intanto a Boca Chica, un anno prima che accadesse l'incidente del Falcon 9, gli ingegneri di SpaceX avevano constatato che il suolo impregnato d'acqua dei terreni adiacenti alle



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

spiagge non potevano sostenere le strutture previste per lo spaziorporto, si rende necessario un intervento radicale noto come "sovraccarico del suolo", che permetterà di risolvere questo problema.

Tra l'ottobre 2015 e il gennaio 2016 vengono trasportati 240.000 metri cubi di terreno che non risolvono del tutto i problemi riscontrati, si rendono quindi necessari altri interventi di sovraccarico del suolo, la neo presidente e COO di SpaceX Gwynne Shotwell (nella foto) nel febbraio 2016 ha affermato che la costruzione ha subito dei ritardi di quasi due anni per la scarsa consistenza e stabilità del terreno, con un ovvio aumento rispetto ai preventivi.



I lavori continuano comunque, tra il 2016 e il 2018 vengono installate due antenne di stazione di tracciamento di banda S da nove metri e una centrale fotovoltaica di 26.000 metri quadri.

Nel 2018 la Shotwell dichiara che i primi test di volo di un veicolo si sarebbero visti entro la fine del 2018 o i primi del 2019, tra il 2018 e il 2019 vengono costruiti una serie di otto serbatoi per il propellente, edifici adibiti ad uffici, ed una piattaforma di lancio quadrata di modeste dimensioni per lanci suborbitali, vengono inoltre realizzati due edifici per l'assemblaggio dei prototipi del nuovo lanciatore Starship paragonabili al V.A.B (Vehicle Assembly Building del JFK Space Centre) nel lotto di produzione, ed una torcia a gas.

Ma torniamo solo per un attimo all'esplosione del Falcon 9, intanto come ha Twittato subito Elon Musk a chi gli chiedeva cosa fosse successo risponde "*@scrapdog yes. This seems instant explosion from a human perspective, but it really a fast fire, not an explosion. Dragon would have been fine*" Trad. "*@scrapdog sì. Questa sembra una esplosione istantanea da una prospettiva umana, ma in realtà è un incendio veloce, non un'esplosione. Con la Dragon sarebbe andata bene*" ricordo che Dragon Crew, ha sistemi di salvataggio dell'equipaggio che hanno superato brillantemente i duri esami di approvazione al volo umano della F.A.A.



Prototipo Starhopper

Dopo una attenta analisi si evince che il sistema di alimentazione del razzo ha subito una anomalia che ha portato ad una perdita ed al successivo incendio, purtroppo il Payload (carico utile, in questo caso un satellite) era già sul booster, con evidente perdita del satellite per telecomunicazioni SES-10, nessun ferito perché l'area era stata evacuata come da norme di sicurezza e nessuna conseguenza per la missione OSIRIX REX sulla rampa adiacente al Space Launch Complex 40. Incidente chiuso, SpaceX continua nella sua marcia....

Lo spazio porto prende ora forma, verrà testato come primo prototipo Starhopper da utilizzare come test per il nuovo lanciatore soprattutto in vista dell'utilizzo dei nuovi motori Raptor che utilizzeranno come propellente il metano (vi rimando all'articolo di Leonardo Avella per gli approfondimenti), nel maggio 2018 Elon Musk precisa che al momento SpaceX ha quattro siti di lancio al suo attivo tre siti in affitto, in Florida a Cape Canaveral SLC 40, e al Kennedy Space Centre la rampa LC39A (quella dell'Apollo 11), in California a Vandenberg la SLC 4, quello di Boca Chica nel Texas meridionale è il quarto sito di lancio alla nascita suborbitale, ma che per affermazione diretta dello stesso Musk vedrà lanci non solo orbitali, ma anche interplanetari verso la luna e oltre; verso Marte, diventa chiaro che i Falcon 9 e i Falcon Heavy possono essere lanciati ancora per lungo tempo dai siti di Cape Canaveral, quindi Boca Chica sarà solo ed esclusivamente adibita allo sviluppo e al lancio della possente Starship. Vediamo anche come è composto questo gigante. Il razzo conta ben 30 motori nel primo stadio che è stato pensato per essere riutilizzabile battezzato "Super Heavy", e termina con il secondo stadio denominato

Associazione Culturale "Il C.O.S.MO." (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena); C.F.:94144450361 pag: 23 di 26

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati. È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo". La loro diffusione all'esterno del circolo è vietata. Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici. - Costo: Gratuito sul WEB per i soci - Arretrati: Disponibili e gratuiti sul WEB per i soci.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

"Starship" (vi rimando sempre all'articolo di Leonardo Avella"), a partire dal marzo 2019 vengono ultimati svariati prototipi di secondo stadio Starship da testare in voli di poche centinaia di metri e atterraggio, veri e propri salti di prova.

Boca Chica si è sviluppata per avere una modalità costruttiva completamente diversa rispetto alle altre agenzie spaziali, Star Base si concentra intorno al suo razzo producendone la maggior parte dei componenti negli edifici e capannoni limitrofi, successivamente vengono assemblati e trasportati sulla rampa di lancio, al momento la produzione non è totale, per esempio I motori Raptor vengono prodotti nella sede centrale di SpaceX a Hawthorne, California, e testati McGregor, Texas, vengono poi portati a Boca Chica, ma Musk confida che nei prossimi anni Boca Chica sarà del tutto indipendente.

Nel marzo 2020, in piena pandemia, la SpaceX a Boca Chica aveva impegnato più di cinquecento dipendenti, che lavoravano su quattro turni H24 sette giorni su sette, distanziati con dispositivi di



Bar Ristorante Star Base

prevenzione individuale, impegnati per I test e per la costruzione dei prototipi Starship.

Per tutto il 2020 vengono compiuti test sui prototipi della navicella Starship, parallelamente il "cantiere" Boca Chica Starbase continua la sua evoluzione.

Nei primi mesi del 2021, viene realizzato un bar-ristorante principalmente per propri dipendenti, ma poi viene aperto anche agli ospiti che fanno visita a Boca Chica, Elon Musk ha voluto che venisse arredato con componenti della mitica Starship MK1, ma l'intenzione è quella di realizzare un vero e proprio futuristico resort posizionato in modo da avere una visuale a 360° sulla base di lancio e su tutta l'area di Boca Chica, qualcosa di veramente suggestivo.

Vediamo ora come è strutturata Starbase – Boca Chica.



Le tre tensostrutture e l'edificio di assemblaggio del Nosecone

Le tensostrutture in tutto tre di cui due sono adibite alla produzione dei multi-anello e dei Nosecone (parte superiore della Starship adibita al Carico utile e in futuro all'equipaggio), i singoli anelli all'inizio del loro viaggio giunti al sito di costruzione di Starbase, sono delle lastre di acciaio 304L. La prima tappa è la cosiddetta Hydraulic Press Tent, dove l'acciaio viene modellato a formare delle sezioni cilindriche alte 2 metri e con un diametro di 9 metri. I singoli anelli vengono poi trasferiti all'interno di due grandi tensostrutture. Al loro interno, le singole sezioni vengono impilate e saldate a formare sezioni multianello più alte. Ci vogliono 17 singole sezioni circolari per assemblare il corpo principale di una Starship e 32 per un Super Heavy, un sistema ingegnoso e molto versatile.

Trasferite nella Mid Bay (nel caso di Starship) o nella High Bay (nel caso di Super Heavy, vedi foto). Nel Mid Bay, un edificio alto 45 metri, i serbatoi di ossigeno e metano vengono assemblati per poi essere saldati. L'High Bay, alto 80 metri, viene invece utilizzato per la costruzione del Super Heavy (che torreggia con i suoi 69 metri di altezza) e l'installazione del nosecone di Starship, i nosecone richiedono lavorazioni particolari per via della loro curvatura. Alla loro costruzione è dedicata la terza grande tensostruttura di Starbase, vicina e del tutto simile alle altre due, ma più alta.

I motori Raptor in arrivo da McGregor vengono esaminati e preparati ad essere montati su Starship/Super Heavy in un'apposita tensostruttura, la Propulsion Tent che viene utilizzata anche per la revisione dei motori che



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

hanno effettuato uno o più static-fire, in linea con il riutilizzo di più componenti possibili.



Ma SpaceX non smette di stupire, uno dei loro obiettivi a breve termine è quello di poter assemblare il grande lanciatore Starship in tempi da record, stessa intenzione hanno per le revisioni di tutti i suoi componenti, questo nuovo modo di fare Astronautica era una delle intenzioni della NASA nei primi anni settanta quando nacque il programma della navetta riutilizzabile lo SPACE SHUTTLE, ahimè sappiamo come è finita.

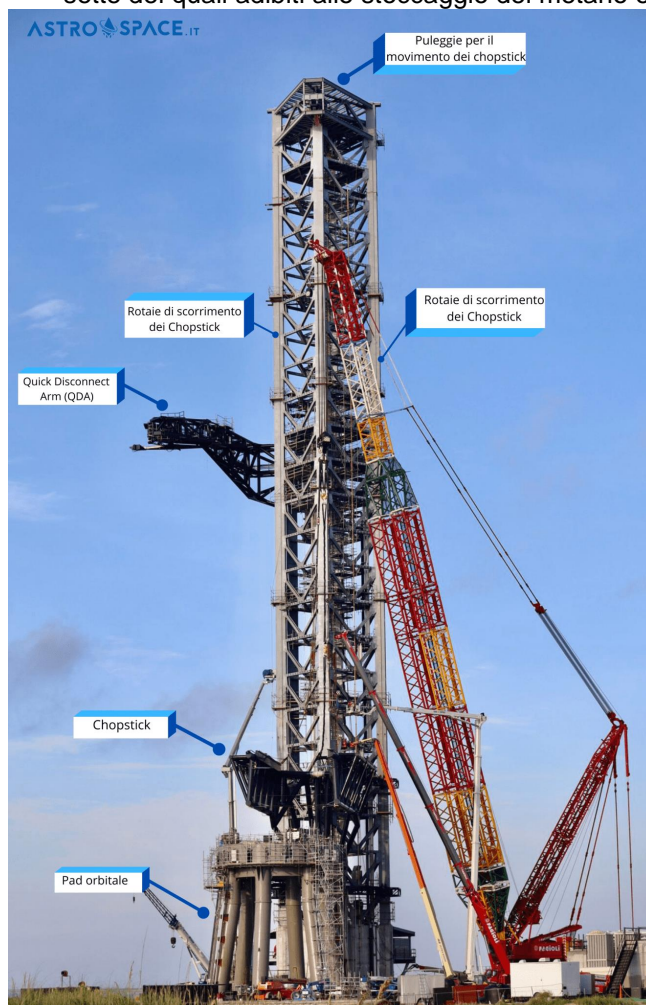
Già con il Falcon 9 avevano dato una sonora lezione a tutti compreso la Roskosmos che anni prima, come detto alcune righe fa, aveva liquidato Musk senza troppi riguardi, e si è ritrovata ora senza i preziosi clienti "Yankee" che di colpo hanno smesso di pagare un salatissimo biglietto per volare sulle Soyuz verso la I.S.S. e hanno preferito volare sulla Dragon Crew a prezzi nettamente inferiori su navicelle nettamente più comode altrettanto sicure. Emblematico il viso preoccupato del Cosmonauta Russo quando il 2 marzo 2019 la prima navetta Dragon ha

attraccato alla Stazione Spaziale Internazionale, e i due ex Astronauti NASA Robert Behnken e Douglas Hurley hanno fatto il loro ingresso all'interno della I.S.S.

Il sito di lancio dislocato a tre chilometri dal sito di assemblaggio per ragioni di sicurezza ha visto svariati "salti" dei prototipi Starship (navetta) con relative esplosioni senza che ci fossero conseguenze per nessuna struttura di costruzione o logistica, i siti sub-orbitali sono stati quindi testati con evidente successo, altra

cosa è il sito adibito al lancio della gigantesca Starship.

Ciò che caratterizza questa parte del sito di lancio oltre alla estrema semplicità abbinata ad una altrettanta versatilità della rampa di lancio battezzata "Stadio Zero" alla Tank - Farm composta da otto silos interamente autoprodotti sette dei quali adibiti allo stoccaggio del metano e



Mechazilla

dell'ossigeno liquido per i motori Raptor per un totale di 4.000 tonnellate, l'ottavo dedicato a milioni di litri d'acqua da utilizzare per il "Water Sound Suppression System", ciò che impressiona è senza dubbio l'incastellatura di lancio, il Mechazilla!

Si tratta di una enorme struttura che ricorda una gru senza il lungo braccio ma con due bracci (chiamati chopstick) sono in grado di aprirsi/chiudersi a chela di granchio, nonché di traslare verticalmente e lateralmente, adibiti al



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 58° - Anno15 – N° 3 - 1/09/2023

momento ad issare i due componenti di Starship e assemblarli dopo aver posizionato il Super Heavy sulla rampa di lancio, ma in futuro l'obiettivo del fondatore di SpaceX è quello di recuperare al volo i componenti di Starship dopo il lancio, al termine della missione, mentre si accingono ad atterrare e ricomporli sulla rampa per essere revisionati e approntati per decollare nuovamente, una cosa mai tentata, catturare al volo uno stadio di oltre settanta metri senza danni e successivamente una navicella di più di quaranta metri e riposizionarli entrambi in configurazione di lancio non si era mai vista in campo Astronautico se non in qualche pellicola di fantascienza, ma che permetterà di non avere il peso dei piedi ripiegabili come il primo stadio del Falcon 9, e avere quindi una maggiore capacità di Payload.

Al momento il Mechazilla si è occupato unicamente di assemblare sulla rampa di lancio il primo prototipo di Starship, impiegando alcune ore per svolgere queste operazioni ma SpaceX ha dichiarato che i tempi si accorceranno drasticamente.

Al momento non possiamo dire che la base di Boca Chica Starbase sia completa o che sia in fase di completamento, ma credo che questo non avverrà mai, sarà sempre in divenire come le idee e le ambizioni del fondatore di SpaceX Elon Musk, che da un sogno ha creato una realtà che sta facendo scuola a tutte le grandi Agenzie Spaziali, tutto questo da un semplice sogno.....

Il 20 aprile 2023 dalla rampa orbitale di lancio di Boca Chica il possente Super Heavy B4 dove sulla sua sommità svettava la Starship S 20 è decollata con un fragore a cui non eravamo più abituati e.....ma questo ve lo ha raccontato nel suo bellissimo articolo Leonardo Avella....

